



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

**POLOHOVÉ A VÝŠKOVÉ URČENÍ MĚŘICKÉ SÍTĚ
V LABORATOŘI B150**

HORIZONTAL AND VERTICAL POSITIONING OF SURVEY NET IN LABORATORY B150

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Hubáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOVAN MACHOTKA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Josef Hubáček
Název	Polohové a výškové určení měřické sítě v laboratoři B150
Vedoucí práce	doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Abelovič, J. a kol.: Meranie v geodetických sieťach, Alfa Bratislava, 1990
Vitásek, J., Nevosád, Z.: Geodézie I. Akad. nakladatelství CERM, 1999.
Nevosád, Z., Soukup, F., Vitásek, J.: Geodézie II. VUTIUM Brno, 1999.
Ježo J., Sokol Š., Vybíral P.: Geodézia II, Elektronické meranie dĺžok. STU v Bratislave, Stavebná fakulta, 2005.
Weigel, Josef: Teorie chyb a vyrovnávací počet I. VUT, 2009.
Vykutil, J.: Teorie chyb a vyrovnávací počet, skripta VUT Brno 1988

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je polohové a výškové určení měřických bodů v laboratoři B150 a sousedící B151. Součástí prací bude rekognoskace měřické sítě, určení souřadnic a výšek všech jejích trvale stabilizovaných bodů a vytvoření přehledné dokumentace. Metody měření a zpracování budou předem konzultovány s vedoucím práce.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá určením souřadnic a výšek bodů v laboratořích B150 a B151 na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně. Souřadnice polohy jsou určeny v místním souřadnicovém systému. Výšky jsou připojeny na Českou státní nivelační síť a budou udávány v systému Baltském po vyrovnání. Práce je rozdělena na kapitoly dle jednotlivých etap zpracování. Výstupem této bakalářské práce jsou seznam vypočtených souřadnic a výšek určovaných bodů a jejich přehledka.

KLÍČOVÁ SLOVA

přesná nivelace, vyrovnání polohové sítě, protínání vpřed z úhlů, trigonometrické učení výšek, podobnostní transformace, přehledka určovaných bodů

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the determination of the horizontal coordinates and heights of the survey control points in the B150 and B151 laboratories at the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology. Position coordinates are determined in the local coordinate system. The heights are connected to the Czech State Leveling Network and will be reported in the Baltic Vertical Datum - After Adjustment. The thesis is divided into chapters according to the individual stages of processing. The output of this bachelor thesis are a list of calculated coordinates and heights of the determined points and their overview.

KEYWORDS

precise leveling, adjustment of the horizontal network, forward intersection from angles, trogonometric measurement of heights, similarity transformation, overview of the determined points

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Josef Hubáček *Polohové a výškové určení měřické sítě v laboratoři B150*. Brno, 2018. 31 s., 7 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 5. 2018

Josef Hubáček
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, doc. Ing. Radovanu Machotkovi, Ph.D., za odborné a konstruktivní připomínky během vypracovávání této práce.

OBSAH

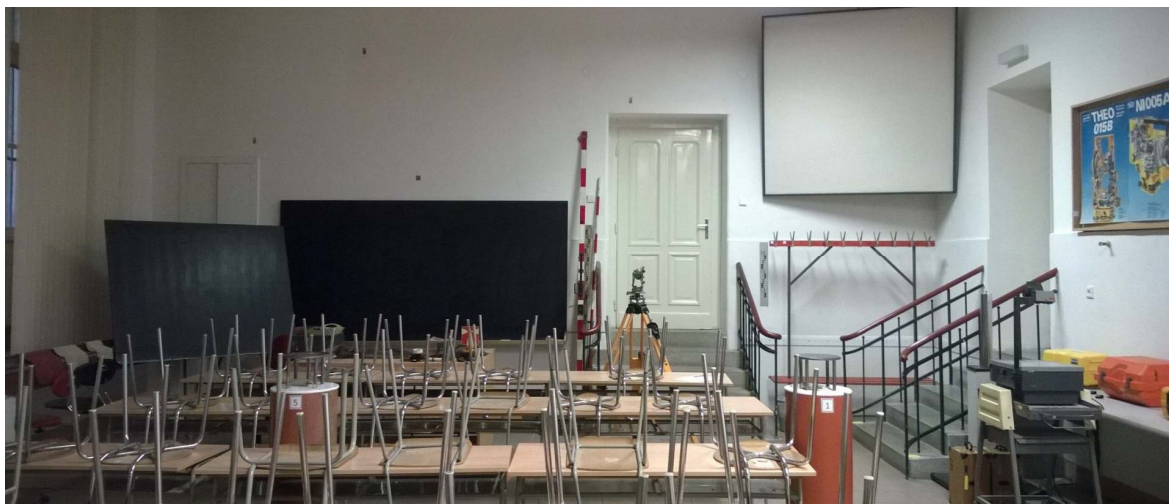
1	ÚVOD	10
2	SEZNÁMENÍ S LOKALITOU	11
3	POPIS ZAMĚŘOVANÝCH BODŮ	13
4	REKOGNOSKACE A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ.....	15
5	PŘESNÁ NIVELACE	17
6	POLOHOVÁ SÍŤ	19
7	PROTÍNÁNÍ VPŘED Z ÚHLŮ	23
8	TVORBA PŘEHLEDKY	25
9	ZÁVĚR	26
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	27
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	29
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	30
	SEZNAM PŘÍLOH.....	31

1 ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je polohové a výškové určení bodů v laboratořích B150 a B151, které se nachází na Stavební fakultě (FAST) Vysokého učení technického v Brně (VUT). Většina z bodů bude určena jak polohově tak i výškově. Body, které slouží pouze k nivelačním účelům, polohově určovány nebudou. Určované body se liší různými požadavky na jejich přesnost.

Výšky bodů budou udávány v systému Baltském po vyrovnání (Bpv), z toho vyplývá nutnost připojení bodů na Českou státní nivelační síť (ČSNS). Poloha bodů bude udávána v místním souřadnicovém systému z důvodu vysokých požadavků na vzájemnou přesnost sítě bodů. Případné závěrečné připojení na Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK), by bylo nepraktické, jelikož pro účely, pro které byly body zřízeny je důležitější vzájemná přesnost, než skutečná poloha v systému S-JTSK.

Laboratoře, ve kterých jsou stabilizovány určované body, slouží pro nácvik správných měřických technologií a postupů, když povětrnostní podmínky neumožňují jejich realizace ve venkovním prostředí. Dále je v těchto prostorách možné testování nových přístrojů.



Obr. 1.1 Laboratoř B150 a dveře do sousedící laboratoře B151

Výstupem této bakalářské práce je seznam souřadnic a výšek určovaných bodů včetně přehledného zakreslení jejich vzájemné polohy, pro jednoduchou orientaci v této síti bodů. Tento výstup má ryze praktický charakter a tím je aktualizace souřadnic sítě bodů v již zmiňovaných laboratořích.

2 SEZNÁMENÍ S LOKALITOU

Laboratoře B150 a B151 se nachází v budově B, což je nejvýhodnější budova areálu Stavební fakulty Vysokého učení technického v Brně. V budově se nachází v prvním nadzemním podlaží a přímo spolu sousedí. Laboratoř B150 slouží oproti B151 také pro výuku. Studenti více využívají laboratoř B150, kde probíhá i výuka odborných předmětů.

Fakulta je lokalizována v brněnské části Veverí na stejnojmenné ulici v těsné blízkosti Bjørnsenova sadu a kousek východně od Kraví hory. Předchůdce dnešního VUT FAST dříve sídlil v několika pronajatých a dislokovaných prostorech. Teprve v roce 1901 se podařilo koupit pozemky na ulici Veverí (tehdejší ulice Veverská) pro stavbu České vysoké školy technické v Brně, která byla zahájena v říjnu 1907. Od roku 1951 byla vysoká škola zrušena a na jejím místě byla zřízena Vojenská technická akademie. Po vzájemné dohodě mezi rektory VUT a Vojenské akademie v Brně byl v roce 1992 areál na Veverí s historickými budovami ve značně zdevastovaném stavu přidělen VUT FAST. [1]



Obr. 2.1 Dislokace budov VUT FAST [2]

Areál FAST byl postupně přestavován a rekonstruován a to hlavně v letech 1999 až 2003 a 2011 až 2013. Celý komplex devíti budov se nyní rozkládá na ulicích Veverí, Žižkova a Rybkova. V budově B se nachází Ústav geodézie, Ústav geotechniky, Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky, dále několik poslucháren a učeben a v neposlední řadě také laboratoře Ústavu vodních staveb a Ústavu geodézie. [3]

Na střeše budovy je bývalá astronomická observatoř a měřící systém permanentní družicové stanice TUBO (Technical University BrnO). Bod TUBO je významnou součástí několika geodynamických sítí. [4] Slouží také jako permanentní stanice CZEPOS, která má za úkol poskytovat korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky. [5]



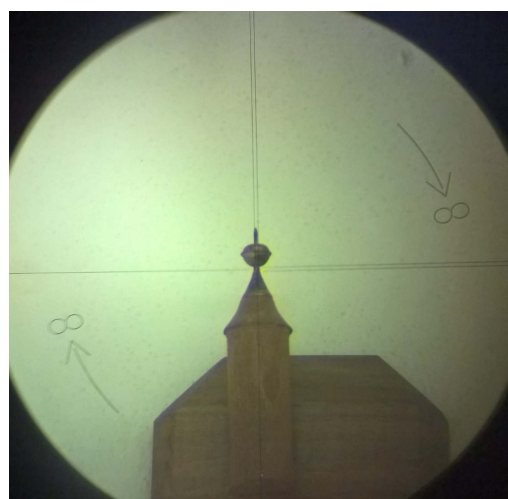
Obr. 2.2 Permanentní GNSS stanice TUBO [6]

3 POPIS ZAMĚŘOVANÝCH BODŮ

Při vstupu do laboratoře B 150 musíme sestoupit o několik schodů, jelikož celá místnost má sníženou podlahu oproti okolním místnostem. Po ploše celé místnosti je rozmístěno osm pilířů s nucenou centrací, na které lze připevnit pomocí šroubu, tak jako na stativ, geodetické přístroje a vybavení. Pilíře tvoří obdélníkovou síť s rozmístěním jednotlivých pilířů ve dvou řadách po čtyřech. Souřadnice středů hlav pilířů budou určeny s polohovou přesností $m_p = 1$ milimetr (mm) a výškovou přesností $m_H = 1$ mm. Těchto osm pilířů ponese dále v textu označení P1 až P8.



Obr. 3.1 Pilíř s nucenou centrací



Obr. 3.2 Zacílení na zmenšeninu kostela

Na stěnách jsou osazeny různé značky a to terče, tečky, zmenšenina kostela, zmenšeniny věže a dále pak odrazný hranol a podložka, na kterou lze umístit odrazný hranol. Tyto prvky ponese dále v textu označení T1 až T9, T11, T12, T21 a T22. Označení vychází z již umístěných číslic, na některých značkách. Souřadnice těchto prvků budou určeny se stejnou přesností jako pilíře tj. $m_p = m_H = 1$ mm.

Jako poslední třída bodů, jsou do stěn umístěny čepové nivelační značky a na stěnách osazené nivelační latě. Latí je více druhů a to šedé určené pro technickou nivelaci a půlcentimetrová lat' určená pro přesnou nivelaci. U latí bude vždy určená výšková úroveň nuly na stupnici. Tyto body nebudou určeny polohově, ale pouze výškově. Nivelační lat' pro přesnou nivelaci bude určena s přesností $m_H = 0,1\text{mm}$ a ponese označení L1. Čtyři šedé nivelační latě pro technickou nivelaci budou určeny s přesností $m_H = 1\text{mm}$ a ponесou označení S1 až S4. A poslední kategorie výškových bodů jsou čtyři čepové nivelační značky, které budou určeny s přesností $m_H = 1\text{mm}$ a ponесou označení N1 až N4.



Obr. 3.3 Čepová nivelační značka



Obr. 3.4 Lat' pro přesnou nivelaci

Z laboratoře B150 se dostaneme vystoupaním po několika schodech přímo do laboratoře B151, jejíž podlaha je již ve stejné úrovni jako v okolních místnostech. V této laboratoři jsou rozmístěny další tři pilíře stejné konstrukce jako v předchozí laboratoři. I požadavky na přesnost budou stejné a ponесou označení P9 až P11.

Jsou zde i další dvě nivelační latě pro přesnou nivelaci, opět se stejnými požadavky na přesnost jako v předchozí laboratoři a ponесou označení L2 a L3.

4 REKOGNOSKACE A PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

Rekognoskaci jsem provedl v laboratořích B150 a B151 a v trase nejkratší a technologicky uskutečnitelné spojnice těchto místností s bodem, jehož výšky jsou v systému Bpv a jsou určeny s dostatečnou přesností. Dvojice takových bodů se nachází poblíž vstupu do budovy B a tvoří společně s dalšími body rozmístěnými po areálu FAST výškovou síť, která sloužila pro účely FAST a měla uvedené výšky s dostatečnou přesností.

Z rozmístění pilířů se přímo nabízelo zaměření jejich vzájemné polohy a vytvoření tak trojúhelníkové rovinné sítě s následným vyrovnáním. Problematické se však ukázalo propojení této sítě mezi oběma laboratořemi, což vedlo k zřízení dočasného bodu P12, díky kterému se dala tato situace zlepšit. Raději jsem se ale rozhodl, že vyrovnání této sítě rozdělím na dvě části, což více rozvedu v kapitole 6 - Polohová síť.

Body T1 až T22 budou určeny protínáním vpřed z úhlů z bodů P1-P8 vyrovnané polohové sítě, které se nalézají v laboratoři B150. Protínání vpřed z úhlů a kontrolní zaměření osnovy směrů na tyto body také dále rozvedu v kapitole 7 – Protínání vpřed z úhlů.

Pro přesnou nivelaci jsem použil přesný nivelační přístroj KONI 007 ($m_0 = 0,7\text{mm/km}$) umístěný na stativu Zeiss s celistvými nohama. Dále pak nivelační lať Zeiss délky 1,75m s invarovou půlcentimetrovou stupnicí, dvojici dřevěných opěrných tyčí a dvojici litinových nivelačních podložek. Z důvodu špatné přístupnosti některých určovaných nivelačních bodů jsem musel použít i závěsnou invarovou nivelační lať Zeiss délky 0,35m s půlcentimetrovou stupnicí z invaru. Při pracích nechybělo ani třicetimetrové pásmo na vidlici.

Pro měření směrů a délek v síti pilířů a následného protínání ze směrů jsem využíval totální stanici Topcon GPT-3003N, s přesností měření směru ve dvou polohách $10''$ a přesností měření délek $3\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$. Totální stanici jsem stavěl na pilíře a jednou také na pomocném bodě P12 na stativ Zeiss s výsuvnými nohama. Cítil jsem na hranoly Topcon a Trimble.



Obr. 4.1 Přesný nivelační přístroj KONI 007 [7]



Obr. 4.2 Totální stanice Topcon GPT-3003N [8]

5 PŘESNÁ NIVELACE

Výšky bodů bývají většinou určovány pomocí převýšení z jiného bodu o známé výšce. Tato převýšení se měří pomocí různých metod, které můžeme obecně rozdělit na geometrickou nivelaci, trigonometrickou nivelaci, hydrostatickou nivelaci a barometrickou nivelaci. Abychom byly ve výčtu určování výšek bodů kompletní je potřeba ještě uvést metodu přímého určení výšek pomocí metody GNSS (Global Navigation Satellite System).

Kategorii geometrické nivelace ze středu můžeme dále dělit dle požadavků na přesnost výsledků měření i použitých přístrojů a dalších specifických technologických podmínek na technickou nivelaci, přesnou nivelaci, velmi přesnou nivelaci a zvláště přesnou nivelaci.

Při nejprísnějším požadavku v zadání této bakalářské práce na určení výšky bodů tj. s přesností $m_H = 0,1\text{mm}$ musím použít metodu přesné nivelace.

Při samotném měření je potřeba porovnávat naměřené hodnoty s dovolenými odchylkami;

rozdíl měření tam a zpět:
$$\rho_i \leq 2 \cdot m_o \cdot \sqrt{R_{km}} \quad (5.1),$$

uzávěr nivelačního pořadu:
$$\varphi_i \leq m_o \sqrt{R_{km}} \quad (5.2),$$

rozdíl průměru tam a zpět a daného převýšení:
$$\Delta_i \leq \rho_i + 0,002m \quad (5.3).$$

ρ_i ... rozdíl měření tam a zpět

φ_i ... uzavěr nivelačního polygonu

Δ_i ... rozdíl průměru převýšení z měření tam a zpět a daného převýšení známých bodů

m_o ... kilometrová přesnost přístroje

R_{km} ... délka nivelačního pořadu v kilometrech

Nejprve jsem určil sklon záměrné přímký nivelačního přístroje ($\phi = -0,8''$) a měrnou opravu ($o_\phi = +0,00125\text{mm/m}$).

Poté jsem ověřil výchozí bod č. 2 výškového bodového pole FAST (2 FAST) kontrolním pořadem měřeným tam i zpět na bod č. 1 téhož bodového pole ($\Delta_i = 0,0\text{mm}$).

Pokračoval jsem určením konstanty, kterou budu muset přičítat respektive odečítat při použití závěsné latě. Tato konstanta představuje rozdíl pomyslné nuly na lati při postavení latě na nivelační bod a při zavěšení na nivelační bod, čímž se dostane pomyslná nula pod nivelační bod právě o velikost určené konstanty. Jelikož se jedná o latě se dvěma stupnicemi a závěsná lať má tyto stupnice posunuté o jinou hodnotu než klasické latě je nutně určit ve skutečnosti tyto konstanty dvě a to pro každou stupnici zvlášť ($k_L = -0,7073\text{m}$, $k_P = -0,5673\text{m}$).

Po předchozích nezbytných přípravných pracích jsem začal s jednotlivými pořady. Jako první přišel na řadu pořad z bodu 2 FAST na bod N1 a zpět ($\rho_i = 0,0\text{mm}$). Bod N1 jsem zvolil jako výchozí pro další pořady realizované v laboratoři B150 a B151.

Poté jsem vždy dvakrát měřeným uzavřeným nivelačním pořadem z/na N1 určoval výšky bodů:

P1-P8 ($\varphi_1 = 0,1\text{mm}$, $\varphi_2 = 0,1\text{mm}$),

L1 a N2-N4 ($\varphi_1 = 0,1\text{mm}$, $\varphi_2 = 0,1\text{mm}$),

L2-L3 a P9-P11 ($\varphi_1 = 0,0\text{mm}$, $\varphi_2 = 0,0\text{mm}$),

S1-S4 ($\varphi_1 = 0\text{mm}$, $\varphi_2 = 0\text{mm}$) → u tohoto pořadu jsem používal pouze levé stupnice na dvou-stupnicových latích, jelikož jsem určoval nivelační latě pro technickou nivelaci, které mají pouze jednu stupnici.

Všechny měření byly v dovozených odchylkách a zápisníky z měření jsou v příloze.

6 POLOHOVÁ SÍŤ

Polohová síť je jedna z několika druhů měřických sítí. Pro účel této bakalářské práce je právě ta nejvhodnější. Výškové určení bodů jsem již provedl pomocí přesné nivelace a tak nyní zbývá už jen určit jejich polohu.

Z důvodu zachování homogenity měřených délek jsem provedl určení součtové konstanty hranolu a přístroje pro kombinaci všech zapůjčených hranolů s přístrojem. Vypůjčil jsem si více odrazných hranolů, než kolik jsem potřeboval, abych si poté vybral ty, jejichž hodnoty součtové konstanty hranolu a přístroje byly co nejpodobnější.

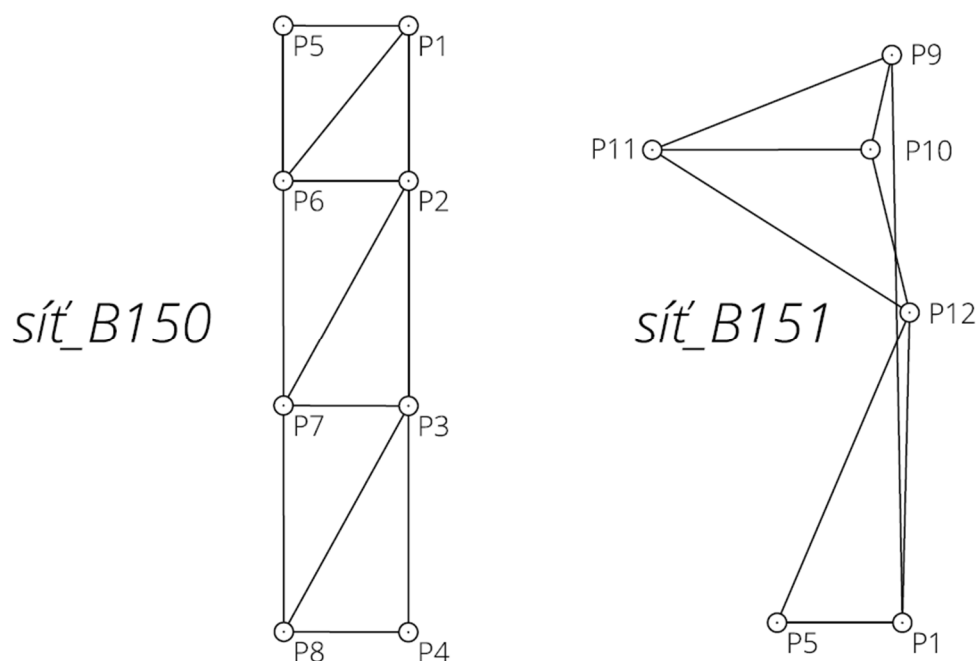
Následně jsem provedl zaměření osnov směrů ve dvou polohách na všech pilířích, tj. P1-P11 a také na pomocném bodě P12. Měřil jsem vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky.

Měření jsem zaznamenával do totální stanice a poté jsem zápisníky z měření stáhl pomocí programu GeomanW na flash disk. V programu Excel jsem provedl výpočet zápisníků osnov směrů včetně napnutí osnovy směrů a výpočet vodorovných délek.

Polohovou síť jsem rozdělil na dvě z důvodu ne příliš ideálního propojení mezi laboratořemi B150 a B151. Vznikly tak dvě polohové sítě; jedna s označením síť_B150 zahrnovala body P1-P8, ve které byl bod P1 pevný se souřadnicemi $[Y ; X] = [100,000 ; 200,000]$ a spojnice bodů P1 a P2 byla rovnoběžná s osou x místního souřadnicového systému a proto bod P2 měl pevnou souřadnici Y, tj. $[100,000 ; X_2]$.

Druhá polohová síť s označením síť_B151 potom zahrnuje body P9-P12 a bude ukotvena na dva pevné body P1 a P5 vyrovnané v předchozí síti. Pro obě sítě jsem vytvořil skript v programu Scilab (verze 5.5.1).

Obecně rozeznáváme tři druhy vyrovnaní a to: vyrovnaní přímých měření (jedna veličina měřená několikrát), vyrovnaní zprostředkujících měření (více veličin měřených opakovaně, pomocí kterých vypočítáme veličiny jiné) a vyrovnaní podmínkových měření (více měřených veličin opakovaně, které musí splňovat určité matematické podmínky). Všechny tři metody vycházejí z principu metody nejmenších čtverců. [9]



Obr. 6.1 Schéma polohových sítí

Pojmem metoda nejmenších čtverců (MNČ) rozumíme: „Postup vyrovnnání měřených nebo odvozených veličin, vycházející z podmínky $\sum p_{vv} = \min.$, kde p jsou váhy jednotlivých měření, v jsou opravy měřených veličin z vyrovnnání; z této podmínky se dostanou lineární rovnice pro neznámé, zvané normální rovnice.“ [10]

Vyrovnnání podmínkových měření vyžaduje následující postup. Nejprve je potřeba sestavit podmínkové rovnice, jejichž celkový počet se rovná počtu nadbytečných veličin. Z důvodu měřických chyb dostaneme při sestavení podmínkových rovnic nějaké odchylky (uzávěry), čímž nám vzniknou odchylkové rovnice. Dalším krokem je linearizování podmínkových rovnic pomocí Taylorovy řady s uvážením členů pouze prvního řádu. Tím dostaneme přetvořené podmínkové rovnice. [9]

Před samotným vyrovnnáním je ještě potřeba sestavit matici plánu **B** (matice obsahující parciální derivace jednotlivých podmínkových rovnic), matici vah **P**, vektor oprav **v** a vektor uzávěrů **u**. Přetvořené podmínkové rovnice budou mít v maticovém zápisu tvar:

$$B \cdot v + u = 0 \quad (6.1). \quad [9]$$

Z podmínky MNČ ještě vyplývá nutnost zavést normální rovnice, což je „Soustava lineárních rovnic odvozená z podmínky metody nejmenších čtverců.“ [11]

Nyní se už můžeme dostat k výpočtu oprav, které v maticovém zápisu mají tvar (matice oprav v):

$$v = -P^{-1} \cdot B^T \cdot (B \cdot P^{-1} \cdot B^T)^{-1} \cdot u \quad (6.2) \quad [9]$$

a v případě stejných vah:

$$v = -B^T \cdot (B \cdot B^T)^{-1} \cdot u \quad (6.3). \quad [9]$$

Výpočet vyrovnaných měření:

$$\hat{l} = l + v \quad (6.4), \quad [9]$$

\hat{l} ... pravé hodnoty měřených veličin,

l ... naměřené veličiny.

Na závěr vyrovnaní je potřeba ověřit správnost výsledků. „*Nejdůležitější kontrolou je závěrečná kontrola dosažením vyrovnaných hodnot měřených veličin do původních podmínkových rovnic!*“ [9]

Po vyrovnaní a závěrečné kontrole se ještě stanoví charakteristiky přesnosti a to většinou tyto:

aposteriorní jednotkovou střední chybu:

$$\hat{m}_o = \sqrt{\frac{\sum v^2}{r}} \quad (6.5), \quad [9]$$

r ... počet nadbytečných měření,

aposteriorní střední chyby měřených veličin:

$$\hat{m}_{l_i} = \frac{\hat{m}_o}{\sqrt{p_i}} \quad (6.6), \quad [9]$$

- v případě stejě přesných měření se rovnají aposteriorní jednotkové střední chybě,

střední chyby vyrovnaných veličin:

$$m_{l_i} = \hat{m}_o \cdot \sqrt{Q_{l_i l_i}} \quad (6.7), \quad [9]$$

$$Q_{l_i l_i} = (I - Q_u \cdot B^T \cdot N^{-1} \cdot B) \cdot Q_u \quad (6.8), \quad [9]$$

v případě stejně přesných měření

$$Q_{l_i l_i} = I - B^T \cdot (B \cdot B^T)^{-1} \cdot B \quad (6.9). \quad [9]$$

Síť_B150 tvořila trojúhelníková síť, ve které bylo sestavení podmínkových rovnic jednoduché, jednalo se o součty úhlů v trojúhelnících. Vyrovnával jsem pouze úhly bez jakékoliv délky. Až vyrovnané úhly jsem použil k výpočtu předběžných souřadnic bodů sítě_B150. Tyto výpočty jsem prováděl v programu Groma (verze 7) geodetickou úlohou protínání vpřed z úhlů (tuto úlohu dále rozvedu v kapitole 7 – Protínání vpřed z úhlů). Jelikož jsem znal pouze souřadnice Y a X bodu P1 a souřadnice Y bodu P2, tak jsem pro bod P2 dopočítal souřadnici X z délky měřené mezi body P1 a P2.

Vytvořil jsem poměry délek měřených v síti_B150 k délkám z předběžných souřadnic. Z těchto poměrů délek jsem provedl průměr a ten jsem použil jako transformační měřítko pro síť_B150. Využil jsem podobnostní transformace s vypuštěním rotační matice. Translaci jsem určil pomocí rozdílu souřadnic zadaných bodu P1 a souřadnic transformovaných tohoto bodu.

$$Y = \mu \cdot Y_o + t \quad , \quad t = Y_{P1} - \mu \cdot Y_{P1} \quad (6.10), (6.11),$$

$$X = \mu \cdot X_o + t \quad , \quad t = X_{P1} - \mu \cdot X_{P1} \quad (6.12), (6.13).$$

Y, X	... souřadnice vyrovnané sítě
Y _o , X _o	... předběžné souřadnice sítě
Y _{P1} , X _{P1}	... zadané souřadnice
t	... translace
μ	... měřítko

Síť_B151 měla v podmínkových rovnicích nejen součet úhlů v trojúhelnících, ale i součet úhlů ve čtyřúhelníku a závěrovou podmínku na stanovisku. Postupoval jsem obdobně jako v síti_B150, tj. nejprve jsem vyrovnal pouze úhly, poté jsem spočítal předběžné souřadnice, následovalo vytvoření poměrů měřených délek k délkám ze souřadnic, což vedlo opět k určení měřítka pro podobnostní transformaci.

Jediný rozdíl oproti síti_B150 byl v tom, že nyní už jedna délka určená byla a to délka P1-P5, kterou jsem použil pro výpočet souřadnic pomocného stanoviska P12. A následující podobnostní transformaci jsem aplikoval až na body P9-P11. Při určování předběžných souřadnic P9-P11 jsem ještě navíc oproti předchozí síti použil metodu rajón.

7 PROTÍNÁNÍ VPŘED Z ÚHLŮ

V laboratoři B150 budu určovat body stabilizované na stěnách protínáním vpřed z úhlů z vyrovnaných bodů sítě_B150 (P1-P8) a jejich výškové souřadnice trigonometrickým měřením výšek taktéž z bodů P1-P8, jejichž výšky jsou určeny přesnou nivelací.

V metodě protínání vpřed z úhlů se jedná o určení polohy bodu ze dvou bodů o známých souřadnicích zaměřením směrů vždy na druhý známý bod a na bod určovaný. Další výpočet probíhá přes shodnostní transformaci. Osa x pomocné soustavy se vloží do spojnice bodů o známých souřadnicích. [9]

Dále se pak vypočítají transformační parametry:

$$a_1 = \frac{\Delta X_{AB}}{S_{AB}}, \quad a_2 = \frac{\Delta Y_{AB}}{S_{AB}} \quad (7.1), (7.2) \quad [12],$$

ΔX_{AB} ... souřadnicový rozdíl x-ové souřadnice známých bodů

ΔY_{AB} ... souřadnicový rozdíl y-ové souřadnice známých bodů

S_{AB} ... délka spojnice určovaných bodů

nejprve musíme určit souřadnice určovaného bodu v pomocné soustavě pomocí sečtení a odečtení následujících rovnic:

$$\Delta x_{AP} = \Delta y_{AP} \cdot \cotg \alpha, \quad \Delta x_{PB} = \Delta y_{AP} \cdot \cotg \beta \quad (7.3), (7.4) \quad [12],$$

$$\rightarrow \Delta y_{AP} \cdot \frac{S_{AB}}{J}, \quad \Delta x_{AP} = \frac{S_{AB}}{J} \cdot \cotg \alpha \quad (7.5), (7.6) \quad [12].$$

$$J = \cotg \alpha + \cotg \beta$$

Δx_{AP} ... souřadnicový rozdíl x-ové souřadnice známého bodu A a určovaného bodu P

Δy_{AP} ... souřadnicový rozdíl y-ové souřadnice známého bodu A a určovaného bodu P

Δx_{PB} ... souřadnicový rozdíl x-ové souřadnice známého bodu B a určovaného bodu P

α ... úhel svírající spojnice bodů A, B a spojnice známého bodu A a určovaného bodu P

β ... úhel svírající spojnice bodů A, B a spojnice známého bodu B a určovaného bodu P

S_{AB} ... délka spojnice určovaných bodů

Předchozími vzorci již můžeme vypočítat souřadnicové rozdíly v pomocné soustavě a tedy i samotné souřadnice určovaného bodu v pomocné soustavě. Nakonec již jen vypočítané souřadnice shodnostní transformací převedeme do souřadnicového systému, ve kterém jsou dva známé body, ze kterých jsme při výpočtu vycházeli. [12]

Po určení polohy bodů označených písmenem T ještě zbývalo určit jejich výšku. To jsem provedl trigonometrickým měřením výšek, což je pro takto krátké záměry v podstatě úloha řešení pravoúhlého trojúhelníka. [13]

Toto měření jsem prováděl společně s měřením osnovy směrů pro protínání vpřed z úhlů, takže jsem výslednou výšku určených bodů mohl určit průměrem ze dvou měření z odlišných bodů sítě_B150.

Převýšení se vypočítá z následujícího vzorce, ke kterému je ještě potřeba připočítat výšku přístroje:

$$h = s \cdot \cotg z \quad (7.7) \quad [13].$$

h ... určené převýšení

s ... vodorovná délka vypočítaná v tomto případě ze souřadnic stanoviště a určovaného bodu metodou protínáním z úhlů

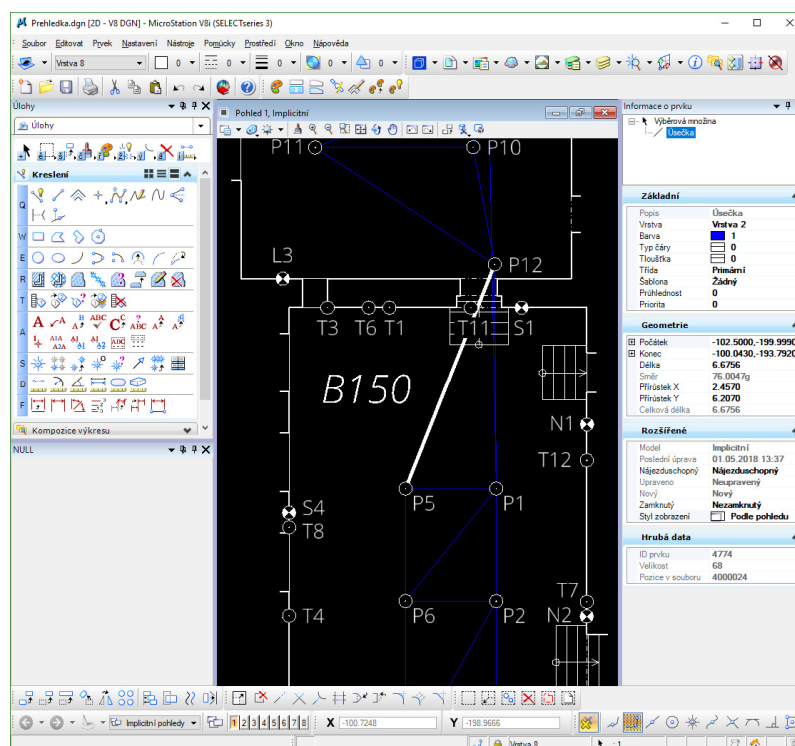
z ... zenitový úhel

Na závěr jsem provedl kontrolní zaměření osnovy směrů ze stanoviště P2 na všechny body stabilizované na stěnách laboratoře B150 označené písmenem T. Osnovu jsem vypočítal v programu Excel a v programu Groma (verze 7) jsem zjistil opravy jednotlivých orientací (směrů). Z oprav jednotlivých směrů a souřadnic a výšek bodů označených písmenem T jsem vypočítal v programu Excel střední příčné chyby a ty jsem porovnal s požadovanou polohovou přesností.

8 TVORBA PŘEHLEDKY

V zadání této bakalářské práce bylo také vyhotovení přehledky určovaných bodů pro lepší přehlednost jejich vzájemné polohy.

Přehledku jsem vytvořil v programu MicroStation PowerDraft V8i, který slouží pro pohodlné kreslení a zakreslování geodetických úkolů. V tomto programu jsem využíval i nadstavbového modulu GROMA, který slouží pro vynesení bodů do výkresu z textového souboru v patřičném formálním formátu.



Obr. 8.1 Pracovní prostředí programu MicroStation PowerDraft V8i

Pro zakreslení určovaných bodů do přehledky jsem využil výstupů z různých metod použitých v této bakalářské práci. Body, jejichž souřadnice jsem neurčoval, jsem si doměřil totální stanicí s využitím bez hranolového režimu. Okna a schodiště jsem doměřil pomocí pěti-metru.

9 ZÁVĚR

Při závěrečném prohlídce lokality, tedy laboratoří B150 a B151, jsem zjistil, že byly odstraněny body číslo T1 a T6. Ve všech výstupech tyto body stále figurují, ale jejich souřadnice již nemají žádný účel.

Hlavními výstupy této práce je seznam souřadnic určovaných bodů a jejich přehledka. K dosažení souřadnic v požadované přesnosti byly používány následující metody.

Nejprve byla určena výška všech bodů, kromě bodů stabilizovaných na stěnách, přesnou nivelací. Až na výjimku, určení výšky nivelačních latí pro technickou nivelaci, kde byla metoda přesné nivelace lehce upravena, z důvodu absence jedné stupnice ze dvou na těchto latích.

Poté byly určený polohové souřadnice středů hlav s nucenou centrací na pilířích s nadbytečným počtem měření. Tato měření byly následně vyrovnány.

Z bodů zmíněných v předchozím odstavci byla určena poloha bodů umístěných na stěnách metodou protínání vpřed z úhlů a jejich výškové souřadnice pomocí metody trigonometrického určení výšky.

Přílohy obsahují nivelační zápisníky, které byly adjustovány; zápisníky měření osnov směrů ve formátu v jakém byly vyexportovány a jejich výpočty provedené v programu Excel; výpočty protínání vpřed z úhlů prováděné v programu Groma (verze 7) a skripty pro program Scilab (verze 5.5.1) sloužící k vyrovnání sítí.

V přílohách je také přehledka určovaných bodů, která byla vytvořena v programu MicroStation PowerDraft V8i a nadstavbového modulu GROMA.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VZNIK A HISTORICKÝ VÝVOJ FAKULTY STAVEBNÍ VUT V BRNĚ. *Fakulta stavební VUT v Brně* [online]. Copyright © Fakulta stavební VUT v Brně – 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/obecne/historie/historie_fast.asp
- [2] Mapa 2 - dislokace fakulty. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ - FAKULTA STAVEBNÍ* [online]. Copyright © Fakulta stavební VUT v Brně – 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/veda/stc/mez_kolo/Mapa-2_Dislokace-fakulty.JPG
- [3] SOUČASNOST FAKULTY STAVEBNÍ VUT V BRNĚ. *Fakulta stavební VUT v Brně* [online]. Copyright © Fakulta stavební VUT v Brně – 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/obecne/historie/soucasnost_fast.asp
- [4] Historie. *TUBO PERMANENTNÍ GPS STANICE* [online]. Copyright © Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://tubo.fce.vutbr.cz/new/historie.asp>
- [5] CZEPOS. *ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://czepos.cuzk.cz/>
- [6] Kupole. *TUBO PERMANENTNÍ GPS STANICE* [online]. Copyright © Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://tubo.fce.vutbr.cz/new/mericiSystem.asp>
- [7] The box came complete with accessories. *Geodetic Instruments Levels* [online]. Copyright © Nicolas de Hilster [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1960s_jenoptik_jena_koni_007.php
- [8] Seria tachimetrów elektronicznych TOPCON GPT-3000N / GPT-3000LN. *GEOMEX Usługi geodezyjne* [online]. Copyright © [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.geomex.com.pl/duze/100_1141.jpg

- [9] WEIGEL, Josef. Vyrovnání podmínkových měření. *TEORIE CHYB A VYROVNÁVACÍ POČET II: Základní druhy vyrovnání (2. část)* [online]. Copyright © Doc. Ing. Josef Weigel, Csc., Brno 2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/oporyOpen.asp?opora_id=551
- [10] metoda nejmenších čtverců (MNC). *Slovník VÚGTK* [online]. Copyright © 2005 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/6807_metoda-nejmensich-ctvercu-\(mnc\)](https://www.vugtk.cz/slovník/6807_metoda-nejmensich-ctvercu-(mnc))
- [11] normální rovnice. *Slovník VÚGTK* [online]. Copyright © 2005 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/6822_normalni-rovnice
- [12] NEVOSÁD, Zdeněk a VITÁSEK, Josef. Protínání vpřed. *GEODÉZIE III: Průvodce předmětem geodézie III* [online]. Copyright © prof. Ing. Zdeněk Nevosád, DrSc., doc. Ing. Josef Vitásek, Csc., Brno 2005 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/oporyOpen.asp?opora_id=334
- [13] VONDRÁK, Jiří. Trigonometrické měření výšek. *GEODÉZIE II: Geodetická cvičení II* [online]. Copyright © Ing. Jiří Vondrák, PhD., Brno 2004 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/oporyOpen.asp?opora_id=998

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

FAST – Fakulta stavební

VUT – Vysoké učení technické v Brně

Bpv – výškový systém Baltský po vyrovnání

ČSNS – Česká státní nivelační síť

S-JTSK – Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální

MNČ – metoda nejmenších čtverců

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Laboratoř B150 a dveře do sousedící laboratoře B151	10
Obr. 2.1 Dislokace budov VUT FAST [2].....	11
Obr. 2.2 Permanentní GNSS stanice TUBO [6]	12
Obr. 3.1 Pilíř s nucenou centrací.....	13
Obr. 3.2 Zacílení na zmenšeninu kostela.....	13
Obr. 3.3 Čepová nivelační značka	14
Obr. 3.4 Lať pro přesnou nivelaci.....	14
Obr. 4.1 Přesný nivelační přístroj KONI 007 [7]	16
Obr. 4.2 Totální stanice Topcon GPT-3003N [8]	16
Obr. 6.1 Schéma polohových sítí.....	20
Obr. 8.1 Pracovní prostředí programu MicroStation PowerDraft V8i	25

SEZNAM PŘÍLOH

- 1** Zápisky přesné nivelace
- 2** Přehledka bodového pole v laboratořích B150 a B151
- 3** Seznam souřadnic a výšek určovaných bodů
- 4** CD
 - 4.1** Výpočet výšek bodů
 - 4.1.1 Výpočet výšek bodů.xlsx
 - 4.2** Zápisky z totální stanice
 - 4.2.1 Zápisník měření z totální stanice 1.ZAP
 - 4.2.2 Zápisník měření z totální stanice 2.ZAP
 - 4.3** Výpočet zápisníků z totální stanice
 - 4.3.1 Výpočet zápisníků z totální stanice.xlsx
 - 4.4** Sít' B150
 - 4.4.1 Vyrovnání úhlů pro sít' B150.sce
 - 4.4.2 Vyrovnání úhlů pro sít' B150.txt
 - 4.4.3 Vstup pro vyrovnání úhlů pro sít' B150.txt
 - 4.4.4 Výstup z vyrovnání úhlů pro sít' B150.txt
 - 4.4.5 Výpočet předběžných souřadnic sítě B150.pro
 - 4.4.6 Transformace sítě B150.xlsx
 - 4.5** Sít' B151
 - 4.5.1 Vyrovnání úhlů pro sít' B151.sce
 - 4.5.2 Vyrovnání úhlů pro sít' B151.txt
 - 4.5.3 Vstup pro vyrovnání úhlů pro sít' B151.txt
 - 4.5.4 Výstup z vyrovnání úhlů pro sít' B151.txt
 - 4.5.5 Výpočet předběžných souřadnic sítě B151.pro
 - 4.5.6 Transformace sítě B151.xlsx
 - 4.6** Protínání vpřed z úhlů
 - 4.6.1 Protínání vpřed z úhlů.pro
 - 4.7** Trigonometrické určení výšek bodů
 - 4.7.1 Trigonometrické určení výšek bodů.xlsx
 - 4.8** Kontrolní měření
 - 4.8.1 Kontrola vzájemné polohy bodů určených protínáním vpřed z úhlů.xlsx
 - 4.8.2 Orientace osnovy směrů.pro